

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К.И. Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизации и управления

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Бурамбаев Шыңғыс Азаматұлы

Разработка системы управления реверсивным конвейером для отгрузки и погрузки палет
роботизированного склада

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизации и управления



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом»

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнил

Даулетбек Н.А.

Рецензент

Научный руководитель

Доктор PhD


(подпись)


Кулакова Е.А.

(подпись)

«13» 06 2025 г.

«13» 06 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизации и управления

6В07103 – Автоматизация и роботизация



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Даулетбек Н.А.

Тема: «Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом».

Утвержден приказом Р. Ускенбаевой № 26-П/Ө от «29» января 2025 г.

Срок сдачи законченной работы: «25» мая 2025 г.

Исходные данные к проекту: входные и выходные данные процессов реверсивных цепных конвейеров.

Перечень подлежащих к разработке в дипломном проекте вопросов:

- а) описание технологической части;
- б) анализ и синтез системы управления;
- в) разработка функциональной схемы автоматизации СУП или объектом;
- г) расчетная часть;
- д) программно-техническая реализация.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): функциональная схема автоматизации котлоагрегата.

Рекомендуемая основная литература:

1 Chen X., Chen Z. Design of Automatic Control System for Boiler // Proceedings of EMCS. — 2016. — P. 1826–1829.

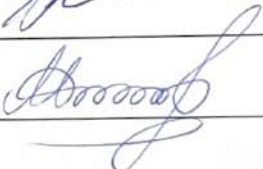
2 Pang Q., Cai Y., Long Y. Design of Integrated Control System for Industrial Boilers Based on PCS7 // 3rd Int. Symp. on Sensor Technology and Control (ISSTC). — 2024. — P. 247–251.

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологический раздел Общая характеристика технологического объекта	13. 02. 2025 г.	
Технологический раздел Анализ и синтез системы управления	06. 03. 2025 г.	
Технологический раздел Разработка функциональной схемы автоматизации СУП или объектом	28. 03. 2025 г.	
Расчетная часть Анализ динамических характеристик системы	14. 04. 2025 г.	
Расчетный раздел Программно-техническая реализация	25. 05. 2025	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	Е.А.Кулакова доктор PhD	28.03.25 г.	
Расчетный раздел	Е.А.Кулакова доктор PhD	25.05.25	
Нормоконтролер	Қ. А. Манатов магистр техн. наук	05.06.2025	

Научный руководитель


подпись Кулакова Е.А.

Задание принял к исполнению обучающийся

подпись Даулетбек Н.А.

Дата

«31» января 2025г.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жоба заманауи автоматтандырылған қойма кешендерінде қолдануға арналған реверсивті тізбекті конвейерлерді басқарудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеуге арналған. Жобада басқару жүйесінің функционалдық схемасы әзірленіп, Siemens S7-1500 бағдарламаланатын логикалық контроллері, оптикалық датчиктер және электр жетектер секілді жабдықтар таңдалды. Басқару логикасы релейлік LAD тілі (Ladder Diagram) арқылы жүзеге асырылып, жүйенің қарапайым әрі көрнекі жұмыс істеуін қамтамасыз етті. Сонымен қатар, автоматты және бағдарламалық басқару контурлары синтезделіп, MATLAB/Simulink ортасында модельдеу жүргізілді және PID-регуляторлар бірнеше әдіспен бапталды. SCADA жүйесі негізінде HMI-интерфейс әзірленіп, операторға нақты уақытта визуализация мен басқару мүмкіндігі берілді. Жобада ұсынылған басқару жүйесі сенімділігімен, тұрақтылығымен және бейімделгіштігімен ерекшеленеді және қоймалық әрі логистикалық жүйелерді жобалау мен жаңғырту кезінде тиімді пайдаланылуы мүмкін.

АННОТАЦИЯ

Данный дипломный проект посвящён разработке автоматизированной системы управления реверсивными цепными конвейерами, предназначенной для использования в современных складских комплексах с высоким уровнем автоматизации. В ходе работы была выполнена разработка функциональной схемы управления, произведён выбор оборудования, включая программируемый логический контроллер Siemens S7-1500, оптические датчики и электроприводы. Логика управления реализована на языке LAD (Ladder Diagram), что обеспечило наглядность и простоту алгоритмов. Также были синтезированы контуры автоматического и программного управления, проведено моделирование в среде MATLAB/Simulink и выполнена настройка PID-регуляторов с использованием нескольких методов. Разработан интерфейс HMI на базе SCADA-системы, позволяющий оператору визуализировать и управлять процессами в режиме реального времени. Полученная система отличается высокой надёжностью, устойчивостью и адаптивностью, и может быть использована при проектировании и модернизации складских и логистических систем.

ABSTRACT

This graduation project is dedicated to the development of an automated control system for reversible chain conveyors, designed for implementation in modern high-level automated warehouse facilities. The project includes the development of a functional automation scheme, selection of equipment such as the Siemens S7-1500 programmable logic controller, optical sensors, and electric drives. The control logic is implemented using the Ladder Diagram (LAD) language, which ensures clarity and ease of use. Automatic and programmatic control loops were synthesized, system modeling was carried out using MATLAB/Simulink, and PID controllers were tuned using several methods. An HMI interface based on a SCADA system was also developed, enabling real-time monitoring and control by the operator. The resulting system demonstrates high reliability, stability, and adaptability and can be effectively applied in the design and modernization of warehouse and logistics infrastructures.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Технологическая часть	8
1.1 Описание автоматизированных складов	8
1.2 Значение автоматизированных складов	9
1.3 Автоматизация складских работ загрузке и отгрузке палет	9
1.4 Автоматизированная система управления процессом с системой реверсивных конвейеров	12
1.5 Определение точек управления, контроля, сигнализации и регулирования конвейерной системы	12
1.6 Разработка функциональной схемы автоматизации системы управления реверсивными цепными конвейерами	13
2 Выбор аппаратной базы	16
2.1 Выбор контроллера	15
2.2 Выбор датчиков	15
2.3 Выбор двигателя и преобразователя частоты	19
3 Расчетная часть	23
3.1 Постановка задачи для синтеза контура управления	23
3.2 Получение математической модели САР	24
3.3 Анализ динамических свойств разомкнутой и замкнутой САР реверсивных цепных конвейеров	25
3.4 Синтез типового регулятора	34
4 Техническая реализация логического управления реверсивными цепными конвейерами в среде TIA Portal	41
Заключение	46
Список использованной литературы	48
Приложение А	49

ВВЕДЕНИЕ

В условиях стремительного развития промышленной автоматизации и цифровизации производственных процессов особое внимание уделяется повышению эффективности логистических операций и складского хозяйства. Автоматизация складов — это не только способ оптимизировать процесс хранения и транспортировки материалов, но и важный инструмент повышения производительности, снижения операционных затрат и повышения уровня безопасности. Современные автоматизированные склады играют ключевую роль в обеспечении непрерывности производственного цикла, задавая его ритм и выступая связующим звеном между различными технологическими участками.

Настоящий дипломный проект направлен на разработку автоматизированной системы управления реверсивными цепными конвейерами, которая является частью транспортно-складского комплекса. Основной задачей проекта является создание системы, способной выполнять логистические операции по транспортировке грузов с высокой степенью надежности и точности. Особенность данной системы заключается в применении реверсивных цепных конвейеров, обеспечивающих двустороннее перемещение палет, что позволяет повысить гибкость и адаптивность складской логистики.

В рамках проекта была разработана функциональная схема автоматизации, произведен выбор соответствующих контрольно-измерительных приборов и исполнительных механизмов, осуществлен расчет параметров системы, а также проведён синтез контуров управления на основе математического моделирования. Особое внимание уделено выбору программируемого логического контроллера (ПЛК) и его интеграции в общую архитектуру управления.

Также в ходе работы была реализована SCADA-система для визуализации и диспетчеризации процессов, происходящих на складе. SCADA-интерфейс позволяет в реальном времени отслеживать состояние оборудования, контролировать движение палет, выявлять неисправности и оперативно реагировать на внештатные ситуации. Для хранения, обработки и обмена данными между системами управления и интерфейсом оператора была реализована связь с базой данных, что обеспечило централизованное хранение информации и возможность последующего анализа логистических процессов.

Проект демонстрирует комплексный подход к автоматизации складского участка, охватывая как техническую, так и программную составляющие. Полученные результаты могут быть использованы в промышленности при проектировании или модернизации автоматизированных складов различного назначения с целью повышения эффективности и надежности их работы.

1 Технологическая часть

1.1 Описание автоматизированных складов

Автоматизированные склады играют ключевую роль в промышленном производстве, являясь неотъемлемым элементом его технологического цикла. Именно благодаря складам обеспечивается непрерывность и ритмичность производственного процесса. Более того, склады можно рассматривать как структурные элементы, определяющие организацию производства, поскольку любые производственные операции — как на уровне отдельных участков, так и всего предприятия — начинаются и завершаются именно в складском звене. Таким образом, эффективность производства напрямую зависит от уровня автоматизации складов и качества их функционирования [1].

Система управления транспортно-складским комплексом включает две основные компоненты: управление складским оборудованием и координацию транспортных единиц. Управление автоматизированным складом, как правило, реализуется посредством программируемого логического контроллера, на программном обеспечении которого и сосредоточена основная логика функционирования. Обмен данными между указанными подсистемами обеспечивается специализированными устройствами связи, входящими в состав комплекса.

На рисунке 1.1 представлена обобщённая функциональная схема системы управления транспортной составляющей автоматизированного склада. В её структуру входят рельсово-шинные (Р-Ш) тележки и автоматические транспортные платформы (робокары), осуществляющие перемещение грузов — как на склад, так и, например, к погрузочным зонам, включая грузовые автомобили. В обозначениях также присутствуют КЭП — комплектные электроприводы, и М — электродвигатели, обеспечивающие приведение механизмов в движение.

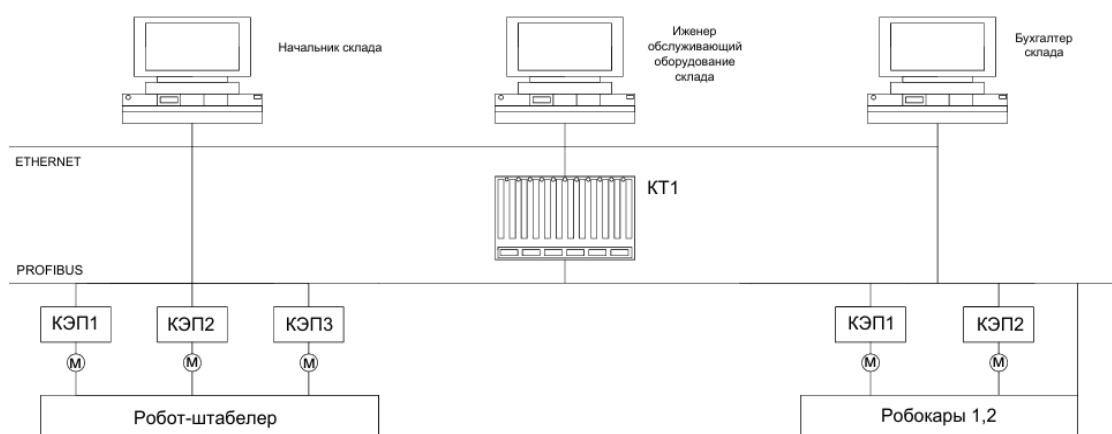


Рисунок 1.1 – Функциональная схема системы управления транспортной системой автоматизированного склада

1.2 Значение автоматизированных складов

Процессы погрузки и разгрузки сопровождают начало и завершение транспортных операций. Эффективная система логистики предполагает, что все транспортные потоки начинаются и заканчиваются на специализированных объектах — механизированных или автоматизированных складах, предназначенных для выполнения перегрузки, хранения, сортировки и комплектации различных грузов [2].

Склады выполняют две базовые функции: транспортировку и хранение. При этом перемещение грузов считается основной задачей, а хранение — сопутствующей. В складской логистике выделяют три ключевые операции: приём и разгрузку поступающего груза; внутреннее перемещение товаров внутри склада; а также их отправку потребителям или на следующий этап логистической цепи.

Учитывая высокую трудоёмкость этих процессов, их автоматизация становится оправданной при наличии соответствующих экономических условий. Что касается хранения, то автоматизация ориентирована на обеспечение более надёжной сохранности грузов, включая мониторинг параметров окружающей среды. Эту задачу выполняют встроенные датчики, например, температуры, влажности и другие.

Складские мощности могут стать ограничивающим фактором при проведении погрузочно-разгрузочных операций, особенно в случае с тарно-штучными грузами. В процессе обработки грузов на складе (включая разгрузку, сортировку, размещение и отгрузку) происходят изменения в параметрах грузопотоков: изменяется объём партий, количество наименований в отправке, характеристики упаковки и транспортных единиц, а также график поступления и отправления грузов. Таким образом, функция склада заключается в преобразовании и адаптации грузопотока под конкретные условия логистической цепи.

Грузы могут передаваться с одного вида транспорта на другой двумя способами. При прямом варианте используется складская техника и погрузочные устройства, позволяющие обходиться без промежуточного хранения. При альтернативном подходе груз сначала выгружается, размещается в складской зоне хранения, а затем загружается на другой вид транспорта. Хотя прямой способ кажется более рациональным, в определённых ситуациях транзит через склад может быть экономически выгоднее. В частности, ускоренная обработка судов за счёт складирования может компенсировать затраты на хранение, благодаря сокращению времени простоя в порту [3].

1.3 Автоматизация складских работ в загрузке и отгрузке палет

Особое внимание уделяется разработке технологического процесса на складах, где внедряется автоматизация. Это касается не только механизации и

автоматизации операций с грузами, но и цифровизации информационных потоков, а также внедрения автоматизированной системы управления технологическими процессами склада (АСУ ТПС).

Технологическая структура работы механизированного либо полностью автоматизированного склада условно делится на два взаимосвязанных уровня: собственно физические операции с грузами (перемещение, укладка и т. д.) и информационное сопровождение этих действий. Последнее обеспечивает синхронность и ритмичность выполнения всех складских операций.

В общей сложности на складе может выполняться до 40 различных операций, включая разгрузку, распаковку, сортировку, взвешивание, укладку в складскую тару, складирование, оформление документации и прочие вспомогательные действия.

Цикл технологического процесса начинается либо с прибытия новой партии грузов, либо с поступления информации о её приближении. Причём такие сведения могут быть переданы заранее, сопровождать груз, или поступить уже после его прибытия.

Перемещение поддонов от сортировочного участка к зоне хранения может осуществляться различными средствами: цепными конвейерами, промышленными манипуляторами, электроталиями или погрузчиками. Если в конкретной логистической схеме используется ручная доставка при помощи погрузчиков, и расстояние между точками разгрузки и хранения значительное, на каждый поддон наносится маркировка. Этикетка содержит шифр груза и адрес его размещения в стеллажной системе. Адрес включает номер прохода (или номер стеллажа), позицию ячейки по горизонтали и номер яруса по вертикали.

При автоматизированной подаче поддонов через конвейеры возможно использование систем автоматической адресации. Такая система направляет поддоны в заданные секции стеллажей — с автоматическим нанесением маркировки или без неё. Грузы поступают в рабочую зону кранов-штабелеров (управляемых оператором или функционирующих в автоматическом режиме), которые размещают их в указанные ячейки стеллажей (рисунок 1.2).

Для эффективной работы всей системы складской логистики важно обеспечить согласованность между физическим перемещением грузов и обработкой информации о них. Это достигается за счёт интеграции программного обеспечения, обеспечивающего непрерывную связь между зонами приёма, хранения и отгрузки. В случае крупномасштабных складов подобная система позволяет не только ускорить обработку грузопотока, но и минимизировать ошибки, связанные с человеческим фактором.

Особое значение в автоматизированных складах приобретает точность адресного хранения. Это обеспечивает быстрое нахождение необходимой товарной позиции при формировании заказов или при выдаче продукции. Кроме того, система автоматического размещения позволяет максимально эффективно использовать доступное пространство, что особенно актуально при высокой оборачиваемости склада.



Рисунок 1.2 – Вид на робот-штабелер

Грузовые единицы перемещаются на транспортные средства с использованием различных видов складской техники: электропогрузчиков, вилочных электротележек, ленточных и цепных конвейеров, а также специализированных перегрузочных манипуляторов (рисунок 1.3).

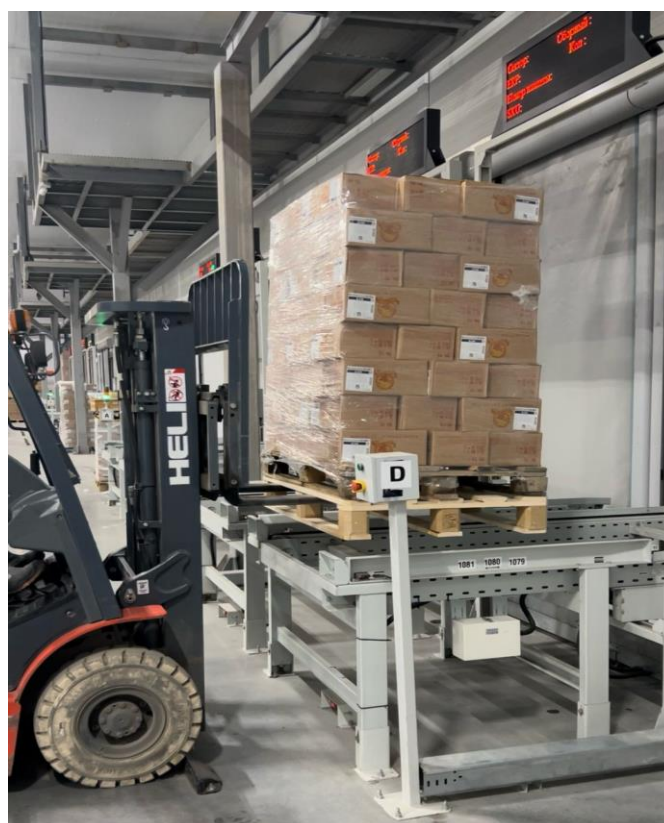


Рисунок 1.3 – Погрузчик

Автоматизация технологических процессов в складской системе заключается в делегировании функций управления и контроля техническим

средствам и приборам. Автоматизированная система работы склада представляет собой заранее структурированную и оптимизированную модель организации всех операций. Однако в условиях динамичной логистической среды такая система должна обладать гибкостью — возможностью перенастройки, например, при изменении номенклатуры обрабатываемых грузов, изменении условий хранения или транспортировки [3].

1.4 Автоматизированная система управления процессом с системой реверсивных конвейеров

Основу данной системы составляет комплекс конвейерного оборудования, управляемого интегрированными программными модулями. Процесс автоматической загрузки и выгрузки товара осуществляется посредством взаимодействия трёх ключевых компонентов: WMS-системы (Warehouse Management System), ответственной за управление размещением товаров на палетоместах; WCS-системы (Warehouse Control System), отправляющей конкретные задачи на выполнение; а также программируемого логического контроллера (ПЛК), обеспечивающего непосредственное выполнение команд на уровне оборудования.

Цепной конвейер, лежащий в основе рассматриваемой системы, представляет собой транспортирующее устройство, в котором тяговое усилие создаётся с помощью одной или двух движущихся цепей. Главное преимущество такого типа конвейеров заключается в их способности транспортировать грузы большого веса, а также объекты, имеющие высокую температуру поверхности. Конструкция этих устройств отличается высокой надёжностью, но требует регулярного технического обслуживания — в частности, своевременной смазки цепей, что критически важно для бесперебойной эксплуатации.

Цепные конвейеры активно используются для перемещения штучных грузов, таких как поддоны, ящики и коробки. Характерной чертой таких конвейеров является то, что цепь служит не только тяговым, но и несущим элементом конструкции, по которому осуществляется перемещение самих грузов. грузы.

1.5 Определение точек управления, контроля, сигнализации и регулирования конвейерной системы

В рамках автоматизированного склада конвейерная система выполняет ключевую функцию — перемещение груза от зоны погрузки до автоматического шаттла. Контроль всех этапов перемещения реализуется через операторскую станцию с интегрированной SCADA-системой, которая обеспечивает визуализацию и мониторинг работы оборудования в реальном времени.

Система контроля состояния груза основана на четырёх точках регистрации. На первом участке (конвейер GE-1) осуществляется проверка поступления паллеты на конвейер с помощью датчика загрузки. Далее груз проходит через арочную зону, где контролируется выход паллеты за габариты. После этого он передаётся на второй конвейер (GE-2), где также фиксируется его наличие. На третьем участке (GE-3), находящемся в конце второго конвейера, датчики регистрируют крайнее положение паллеты для предотвращения её выхода за допустимые границы.

Такая структура контроля позволяет с высокой точностью определять местоположение груза на всех этапах движения. В случае возникновения ошибки система может оперативно локализовать участок сбоя и вывести диагностическую информацию (таблицы 1.1 и 1.2).

В модуле управления предусмотрен выбор режимов работы: ручного и автоматического. Переключение между ними возможно как с операторской станции, так и с локального пульта управления, установленного рядом с конвейером. Это обеспечивает удобство в эксплуатации и быстрое реагирование при необходимости технического вмешательства.

Таблица 1.1 – Таблица сигналов контроля

№	Наименование сигнала	Описание	Диапазон значений
1	Оптический датчик 1 GE-1	Регистрирует наличие груза на первом конвейере	0-1
2	Оптический датчик 2 GE-2	Регистрирует наличие груза на втором конвейере	0-1
3	Оптический датчик 3 GE-3	Регистрирует наличие груза на третьем конвейере	0-1
4	Предельный датчик GE-4	Регистрирует достижение грузом конечной точки	0-1
5	Частота вращения двигателя M1	Приводит в движение первый конвейер	
6	Частота вращения двигателя M2	Приводит в движение первый конвейер	

Таблица 1.2 – Таблица сигналов регулирования

№	Наименование	Описание	Диапазон значений
1	Частота вращения M1	Скорость движения первого конвейера	
2	Частота вращения M2	Скорость движения второго конвейера	

Продолжение таблицы 1.2

3	Частота вращения МЗ	Скорость движения третьего конвейера	
---	---------------------	--------------------------------------	--

Таблица 1.3 – Таблица сигналов аварийных сигналов

№	Наименование	Описание
1	Превышение лимита ожидания	Груз не достиг датчика GI-2 в течение установленного времени (падение или застревание груза)
2	GIA-4 Выход за пределы	Выход груза за пределы датчика GIA-4, предотвращение падения груза

1.6 Разработка функциональной схемы автоматизации системы управления реверсивными цепными конвейерами

Функциональные схемы автоматизации являются неотъемлемой частью проектной документации при разработке систем управления технологическими процессами. Они выполняют роль ключевого технического документа, отображающего архитектуру управления, логические взаимосвязи между узлами, а также принципы взаимодействия всех компонентов системы. С помощью этих схем удаётся наглядно представить состав оборудования, его роль в общей системе, а также маршруты обмена данными между исполнительными и управляющими устройствами.

В функциональной схеме автоматизации отражаются как основные технологические узлы (например, конвейеры, датчики, приводы), так и средства автоматизации — контроллеры, панели оператора, интерфейсные модули, коммуникационные устройства. Все элементы обозначаются в соответствии с принятыми графическими стандартами, что делает схему универсальным инструментом как для проектировщиков, так и для технического персонала на этапе наладки и эксплуатации.

Разработанная схема (см. Приложение А) отражает взаимодействие между цепными конвейерами, датчиками положения, средствами управления и модулями сигнализации. Она даёт полное представление о функционировании системы и позволяет проводить диагностику, вносить изменения и модернизацию без существенных затрат времени и ресурсов. Применение такой схемы особенно актуально в условиях гибкого производства, где требуется быстрая адаптация систем под изменяющиеся условия технологического процесса.

2 Выбор приборов КИП и аппаратуры

2.1 Выбор контроллера

Для реализации задач управления основными узлами конвейерной системы требуется выбрать подходящий программируемый логический контроллер (ПЛК), способный обеспечить надежное функционирование оборудования. В качестве кандидатов для анализа были рассмотрены контроллеры Siemens серий S7-300 и S7-1500. Один из них изображён на рисунке 2.1.

В результате сравнительного анализа предпочтение было отдано контроллеру S7-1500. Это решение отличается современной архитектурой, высокой производительностью, улучшенной функциональностью и широкими возможностями по интеграции в системы промышленной автоматизации. Контроллер S7-1500 оптимально подходит для выполнения сложных алгоритмов, что особенно важно в условиях современных производств.

Также немаловажным фактором стали надёжность и удобство конфигурирования данного оборудования. Выбор этой модели для дипломного проекта объясняется её универсальностью и адаптивностью к различным условиям эксплуатации. Подробное сравнение характеристик моделей S7-300 и S7-1500 приведено в таблице 2.1.



Рисунок 2.1 - CPU 1515-2 PN (6ES7515-2AM02-0AB0)

Таблица 2.1 – Технические характеристики контроллера

№	Характеристика	Значение
1	Версия микропрограммного обеспечения	V2.9
2	Рабочая память	500 кБ для программы и 3 МБ для данных
3	Интерфейс 1	PROFINET IRT с 2х-портовым коммутатором
4	Интерфейс 2	PROFINET RT

Продолжение таблицы 2.1

8	Максимальное потребление тока	1.1 A
9	Мощность питания шины на задней стенке	12 W
10	Рассеиваемая мощность	6.3 W
8	Максимальное потребление тока	1.1 A
9	Мощность питания шины на задней стенке	12 W
10	Рассеиваемая мощность	6.3 W
11	Число гнезд для карты памяти SIMATIC	1
12	Число подключаемых модулей ввода/вывода	8192
13	Время обработки ЦП (битовые операции)	30 нс
14	Время обработки ЦП (операции со словами)	36 нс
15	Время обработки ЦП (арифметика с фиксированной точкой)	48 нс
16	Время обработки ЦП (арифметика с плавающей точкой)	192 нс
17	Температура окружающей среды при эксплуатации	от -25 °C до 60 °C (горизонтальный монтаж)

2.2 Выбор датчиков

Для точного позиционирования палет в автоматизированной системе применяются оптические датчики Omron E3Z-T86-L/D, представляющие собой однолучевой световой барьер. Они реагируют на пересечение объекта с инфракрасным лучом, проходящим от передающего устройства (E3Z-T86-L) к принимающему (E3Z-T86-D), и обеспечивают корректную ориентацию палеты относительно линии перемещения (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 - Omron E3Z-T86-L/D

Данная серия датчиков выгодно отличается сочетанием доступной стоимости и надежности в эксплуатации. Устройства серии E3Z-LT86 чувствительны к перекрытию луча и мгновенно подают сигнал при обнаружении объекта. Благодаря своей конструкции и устойчивости к внешним воздействиям, эти датчики активно используются на складах и в производственных линиях, где требуется чёткое определение положения груза (см. рисунок 2.3).

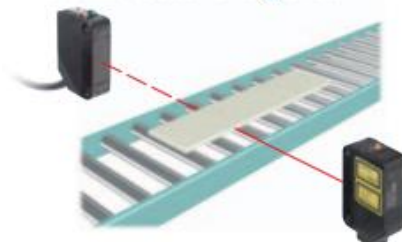


Рисунок 2.3 – Принцип работы датчика

Принцип работы заключается в следующем: передающее устройство направляет световой луч к приёмнику, и при попадании любого предмета в зону действия происходит разрыв этого луча. В этот момент приёмник фиксирует прерывание и формирует соответствующий сигнал. Такое решение особенно удобно при необходимости отслеживания перемещения или подтверждения присутствия груза на определённых участках транспортной линии.

Расстояние срабатывания (рисунок 2.4):

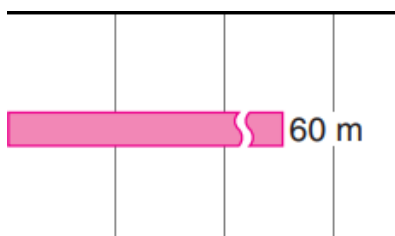


Рисунок 2.4 – Расстояние срабатывания датчика

Выходная цепь (рисунок 2.5):

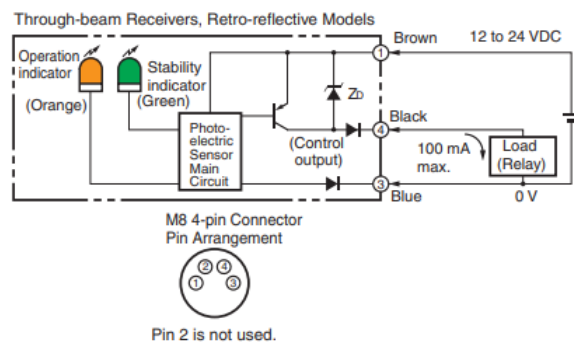


Рисунок 2.5 – Выходная цепь датчика

Свонной излучатель (рисунок 2.6):

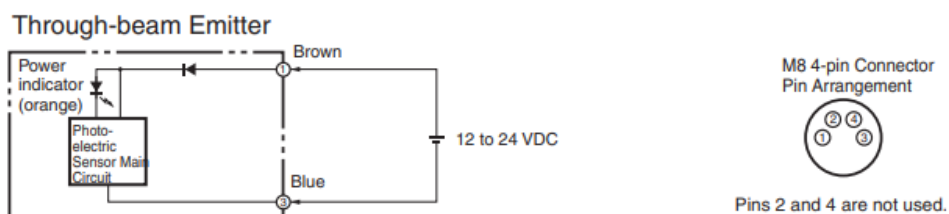


Рисунок 2.6 – Схема сквозного излучателя

Схема конструкции датчика(рисунок 2.7):

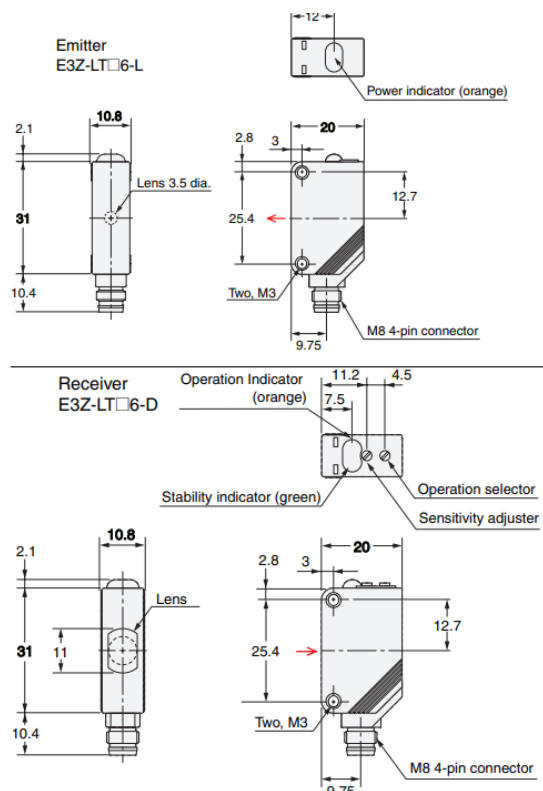


Рисунок 2.7 – Схема конструкции датчика

Характеристики датчика (таблица 2.2):

Таблица 2.2 – Характеристики датчика Omron E3Z-LT86-L/D

Параметр	Значение
Способ обнаружения	Пролётный (Emitter + Receiver)
Расстояние обнаружения	60 м
Напряжение питания	12 до 24 VDC $\pm 10\%$, рипл (p-p) 10% макс.
Потребляемый ток	35 mA (Emitter 15 mA, Receiver 20 mA)
Выходной сигнал	PNP
Нагрузочный ток	Ток нагрузки менее 10 mA: не более 1 В. Ток нагрузки от 10 до 100 mA: не более 2 В
Время отклика	1 мс макс.
Уровень защиты	IP67 (IEC)
Диапазон рабочих температур	Эксплуатация от -10 до 50°C хранение от -25 до 70°C (при отсутствии обледенения и конденсата)

2.3 Выбор двигателя и преобразователя частоты

Движение цепей происходит за счет двигателя SEW Eurodrive DRN80-160, управляется частотником Schneider Altivar ATV310H075N4A.

Ниже представлены схемы, доступ к клеммам, рисунки и технические характеристики:



Рисунок 2.8 – SEW Eurodrive DRN80-160



Рисунок 2.9 – Schneider Altivar ATV310H075N4A

Таблица 2.3 – Технические характеристики преобразователя частоты

Атрибут	Описание
Номинальное напряжение питания	380...460 В - 15...10 %
Мощность двигателя кВт	0,75 кВт (усиленный режим)
Мощность двигателя л.с.	1 л.с. (усиленный режим)
Частота питания	50/60 Гц +/- 5 %
Протокол порта связи	Modbus
Тип разъема	RJ45 (на передней панели) для Modbus
Физический интерфейс	Двухпроводной RS 485 для Modbus
Формат передачи	RTU для Modbus
Скорость передачи	4800 до 38400 бит/с
Количество адресов	1...247 для Modbus
Выходная частота	0,5...400 Гц
Диапазон скоростей	1...20
Выходное напряжение	380...460 В трехфазное
Температура окружающего воздуха для работы	-10...55 °C
Стандарты	EN/IEC 61800-3, EN/IEC 61800-5-1

Ниже на рисунке 2.10 представлены параметры двигателя (заводские) которые используются транспортировке палет для отгрузки и погрузки:

Menu	Code	Description	Factory setting	Customer setting
ConF → FULL → - 300 - [Motor control menu]	301	[Standard motor frequency]: Standard motor frequency (Hz)	50.0	
	302	[Rated mot. power]: Nominal motor power on motor nameplate	drive rating	
	305	[Rated mot. current]: Nominal motor current on motor nameplate (A)	drive rating	
ConF → 600 → - 604 - [Motor thermal protection menu]	604	[Motor thermal current]: Nominal motor current on motor nameplate (A)	drive rating	

Рисунок 2.10 – Параметры двигателя заводские

Также на рисунке 2.11 представлены его основные параметры (заводские):

Menu	Code	Description	Factory setting	Customer setting
500 → 501 - [Ramp menu]	501.0	[Acceleration]: Acceleration time (s)	3.0	
	501.1	[Deceleration]: Deceleration time (s)	3.0	
500 → 512 - [Speed Limit menu]	512.0	[Low speed]: Motor frequency at minimum reference (Hz)	0.0	
	512.2	[High speed]: Motor frequency at maximum reference (Hz)	50.0	

Рисунок 2.11 – Основные параметры

Общая электрическая схема:

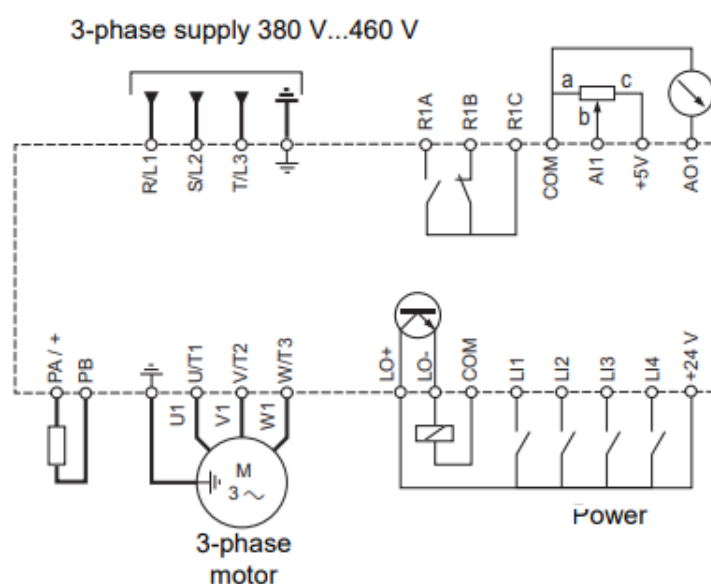


Рисунок 2.12 – Общая электрическая схема

На рисунках 2.13 и 2.14 можем увидеть доступ к клеммам при использовании кольцевых клемм в преобразователе частоты Schneider Altivar ATV310H075N4A и пульт управления реверсивными цепными конвейерами который позволяет управлять конвейерами вручную.

Чаще всего пульт управления используется при технических неполадках, когда оператор который следит за работой конвейерами не может исправить неполадки которые требуют непосредственного вмешательства техников. Также пульт управления используется для проверки работы исправности конвейеров. Что в свою очередь полезен при выполнении профилактических работ в складе.

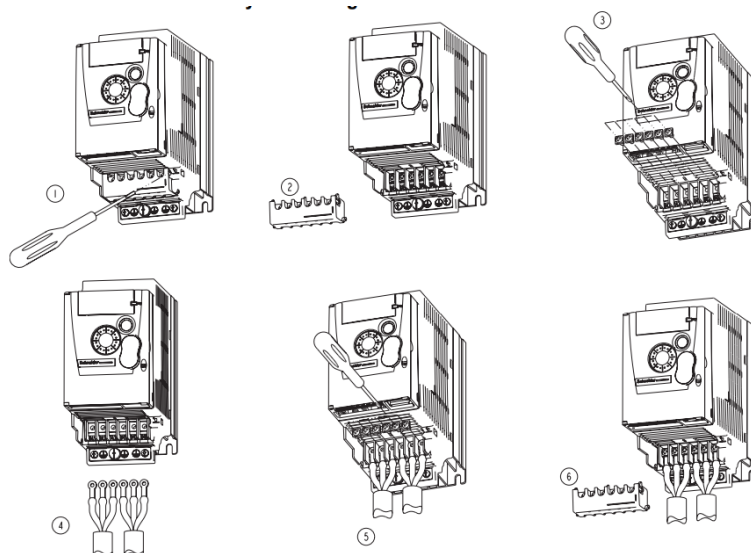


Рисунок 2.13 – Доступ к клеммам при использовании кольцевых клемм

Также оснащен коробкой управления (рисунок 2.14):



Рисунок 2.14 – Коробка для ручного управления конвейером

Где:

Auto – автоматический режим

Manual – ручной режим

Reset - сброс

FWD(Forward) – движение цепей вперед

REV(Reverse) – движение цепей назад

3 Расчетная часть

3.1 Постановка задачи для синтеза контура управления

В соответствии техническим заданием дипломного проекта необходимо синтезировать контуры управления: контур регулирования (рисунок 3.1).

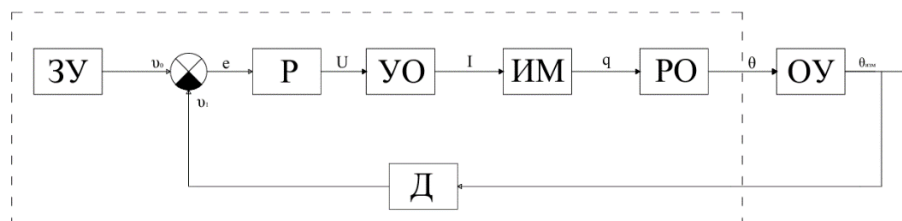


Рисунок 3.1 – Общий вид функциональной схемы управления

ЗУ – задающее устройство, для установки значения параметра u_0

Д – оптический датчик

Р – регулятор

УО – управляющий орган

ИМ – исполнительный механизм

РО – регулирующий орган

ОУ – объект управления

$U(t)$ – регулирующее (управляющее) воздействие

$Z(t)$ – помеха (возмущение)

$X(t)$ – регулируемый параметр

u_1 – сигнал на выходе датчика

u_0 – задающий сигнал

e – ошибка

U – управляющее напряжение

I – ток на исполнительный механизм

Q – расход масла

θ – угол наклона

$\theta_{изм}$ – измеренное угол наклона

Функциональная схема регулирования стабилизации наклона вил автокара (рисунок 3.2).

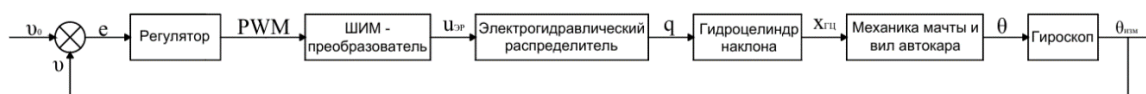


Рисунок 3.2 – Функциональная схема контура регулирования стабилизации наклона вил автокара

PWM – управляющий сигнал ШИМ

$U_{ЭР}$ – напряжение на электромагните распределителя

q – поток масла распределителя

$U_{ГЦ}$ – перемещение штока гидроцилиндра

θ – угол наклона

$\theta_{изм}$ – угол наклона мачты

На основе разработанных функциональных схем контуров управления были сформулированы следующие типовые задачи, подлежащие реализации в рамках автоматизированной системы:

Задача №1: Исходя из представленной математической модели замкнутой системы автоматического регулирования (см. рисунок 4.1), требуется выполнить синтез регулятора, способного обеспечить заданные характеристики качества управления. Целью данной задачи является подбор и настройка типового регулятора таким образом, чтобы динамические и статические показатели системы соответствовали требованиям, предъявляемым к устойчивости, быстродействию и точности управления.

3.2 Получение математической модели САР

Была сформирована математическая модель системы автоматического регулирования (САР), отвечающей за стабилизацию угла наклона вил погрузчика HELI CPD1P-FJ. При разработке учитывались физические особенности объекта, принятые упрощения, а также определены передаточные функции, описывающие поведение системы.

Основное назначение данной системы — поддержание постоянного угла наклона вил относительно горизонтальной поверхности при изменении положения шасси автопогрузчика, например, при движении по наклонной плоскости. Такая стабилизация необходима для предотвращения возможного смещения или падения груза, что напрямую влияет на безопасность погрузочно-разгрузочных работ.

Параметры и данные, использованные при построении модели, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные и физические параметры

Параметр	Значение	Обоснование
Масса погрузчика	≈ 2650 кг	Типичная для этой модели
Угол наклона мачты вперед/назад	$\pm 6-12^\circ$	По паспорту
Время реакции на наклон	0.3-0.5 с	Гидропривод мачты

Продолжение таблицы 3.1

Пропорциональный клапан	Время открытия ≈ 0.05 с	Типично для гидросерво систем
Датчик угла (гироскоп)	$t_{\phi} \approx 0.01$ с	MEMS-гироскоп, фильтр 1 порядка

Модель построена как каскадная цепочка передаточных функций элементов исполнительной части:

1. ШИМ-преобразователь:

$$G_{PWM}(s) = 1 \quad (3.1)$$

2. Электрогидравлический клапан (1-го порядка)

$$G_{valve}(s) = \frac{1}{0.05s + 1} \quad (3.2)$$

3. Гидроцилиндр с нагрузкой (инерционное звено)

$$G_{valve}(s) = \frac{1}{0.1s + 1} \quad (3.3)$$

4. Механика мачты (вкл. массу вил и сопротивление)

$$G_{mech}(s) = \frac{0.3}{0.3s + 1} \quad (3.4)$$

Коэффициент 5 рад/В – подобран по типичной чувствительности мачты на привод

Итоговая передаточная функция объекта управления:

$$G(s) = G_{valve}(s) * G_{valve}(s) * G_{mech}(s) = \frac{1}{(0.05s + 1)(0.1s + 1)(0.3s + 1)} \quad (3.5)$$

3.3 Анализ динамических свойств разомкнутой и замкнутой САР реверсивных цепных конвейеров

Исходя из вышеперечисленных данных математическая модель САР реверсивных цепных конвейеров имеет вид разомкнутой системы 3-го порядка

$$G(s) = \frac{0.3}{(0.05s + 1)(0.1s + 1)(0.3s + 1)} \quad (3.6)$$

Полученная передаточная функция будет служить основой для последующего анализа динамики системы управления. Для перехода от разомкнутой структуры к замкнутому виду необходимо применить стандартное выражение для обратной связи.

В случае отрицательной обратной связи используется следующая формула:

$$T(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)} \quad (3.7)$$

Применив ранее рассмотренное выражение для отрицательной обратной связи, определим передаточную функцию замкнутой системы. В результате получаем:

$$T(s) = \frac{0.3}{0.0015s^3 + 0.05s^2 + 0.45s + 1} \quad (3.8)$$

Прежде чем приступить к моделированию данной системы в программной среде MATLAB, необходимо убедиться в устойчивости исходной (разомкнутой) системы. Для этого воспользуемся классическим критерием устойчивости – методом Гурвица.

Алгоритмы решения:

Шаг 1. Мы уже имеем характеристическое уравнение третьего порядка:

$$a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0 = 0 \quad (3.9)$$

С коэффициентами:

$$a_3 = 0.0015$$

$$a_2 = 0.05$$

$$a_1 = 0.45$$

$$a_0 = 1$$

Шаг 2. Построим матрицу Гурвица для третьего порядка

Для третьего порядка уравнения матрица Гурвица имеет вид:

$$H = \begin{bmatrix} a_2 & a_0 & 0 \\ a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & a_2 & a_0 \end{bmatrix}$$

Подставим значения:

$$H = \begin{bmatrix} 0.05 & 1 & 0 \\ 0.0015 & 0.45 & 0 \\ 0 & 0.05 & 1 \end{bmatrix}$$

Шаг 3. Находим все основные определители:

1) Первый определитель

$$\Delta_1 = a_2 = 0.05 > 0$$

2) Второй определитель

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 0.05 & 1 \\ 0.0015 & 0.45 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = 0.021$$

3) Третий определитель

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 0.05 & 1 & 0 \\ 0.0015 & 0.45 & 0 \\ 0 & 0.05 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_3 = 0.021 > 0$$

Вывод: Все определители положительны, что означает, что все корни характеристического уравнения находятся в левой полуплоскости, и система устойчива по критерию Гурвица

Проверим решение с помощью MATLAB используя команду `pole` (рисунок 3.3).

```
G =  
  
          0.3  
-----  
0.0015 s^3 + 0.05 s^2 + 0.45 s + 1  
  
Continuous-time transfer function.  
Model Properties  
>> pole(G)  
  
ans =  
  
-20.0000  
-10.0000  
-3.3333
```

Рисунок 3.3 – Нахождение полюсов разомкнутой САР

Изобразим полюса также в MATLAB на комплексной плоскости используя команду `pzmap` (рисунок 3.4).

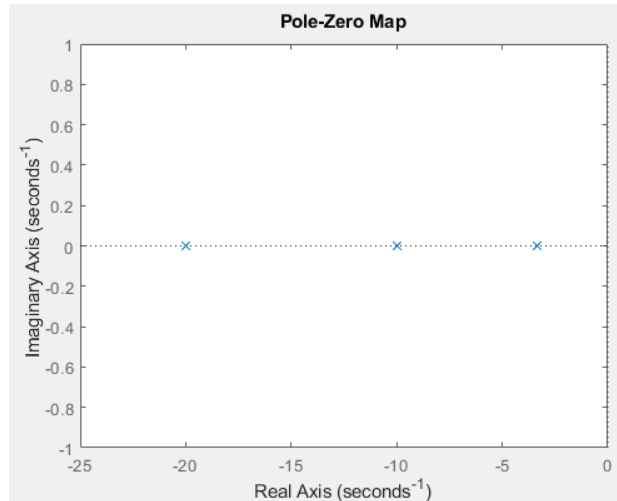


Рисунок 3.4 – Полюса РСАР на комплексной плоскости

Полюса разомкнутой САР имеют отрицательные действительные значения, что свидетельствует о её устойчивости. В аналогичном порядке, проведем проверку устойчивости замкнутой системы опираясь на этот же метод.

Алгоритмы решения:

Шаг 1. Мы уже имеем характеристическое уравнение третьего порядка:

$$a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 + a_0 = 0 \quad (3.10)$$

С коэффициентами:

$$a_3 = 0.0015$$

$$a_2 = 0.05$$

$$a_1 = 0.45$$

$$a_0 = 2$$

Шаг 2. Построим матрицу Гурвица для третьего порядка

Для третьего порядка уравнения матрица Гурвица имеет вид:

$$H = \begin{bmatrix} a_2 & a_0 & 0 \\ a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & a_2 & a_0 \end{bmatrix}$$

Подставим значения:

$$H = \begin{bmatrix} 0.05 & 1.3 & 0 \\ 0.0015 & 0.45 & 0 \\ 0 & 0.05 & 1.3 \end{bmatrix}$$

Шаг 3. Находим все основные определители:

1) Первый определитель

$$\Delta_1 = a_2 = 0.05 > 0$$

2) Второй определитель

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 0.05 & 1.3 \\ 0.0015 & 0.45 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = 0.0205$$

3) Третий определитель

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 0.05 & 1.3 & 0 \\ 0.0015 & 0.45 & 0 \\ 0 & 0.05 & 1.3 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_3 = 0.0267 > 0$$

Вывод: Все определители положительны, что означает, что все корни характеристического уравнения находятся в левой полуплоскости, и система устойчива по критерию Гурвица.

Проверим решение с помощью MATLAB используя команду `pole` (рисунок 3.5).

```
>> T = tf([0.3] , [0.0015 0.05 0.45 1.3])

T =

          0.3
-----
0.0015 s^3 + 0.05 s^2 + 0.45 s + 1.3

Continuous-time transfer function.
Model Properties
>> pole(T)

ans =

-21.0253 + 0.0000i
-6.1540 + 1.8299i
-6.1540 - 1.8299i
```

Рисунок 3.5 – Нахождение полюсов замкнутой САР

Изобразим полюса также в MATLAB на комплексной плоскости используя команду `pzmap` (рисунок 3.6).

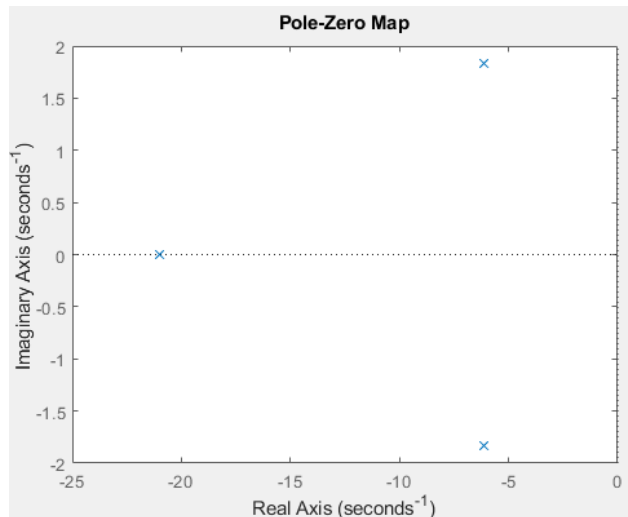


Рисунок 3.6 – Полюса ЗСАР на комплексной плоскости

Поскольку все корни характеристического уравнения располагаются в левой части комплексной плоскости (их вещественные части отрицательны), можно сделать вывод о том, что система обладает свойством устойчивости.

Для более глубокого анализа системы автоматического регулирования необходимо рассчитать и проанализировать показатели её качества. Эти параметры делятся на две группы: прямые, получаемые на основе анализа переходной характеристики, и косвенные — определяемые по расположению корней в комплексной плоскости. В рамках данного проекта акцент будет сделан на прямые показатели качества.

Анализ будет проведён по переходному процессу замкнутой системы стабилизации угла наклона вил автокара. Соответствующий график представлен на рисунке 3.7. Все полученные данные и вычисленные характеристики сводятся в таблицу 3.2 для удобства последующего анализа.

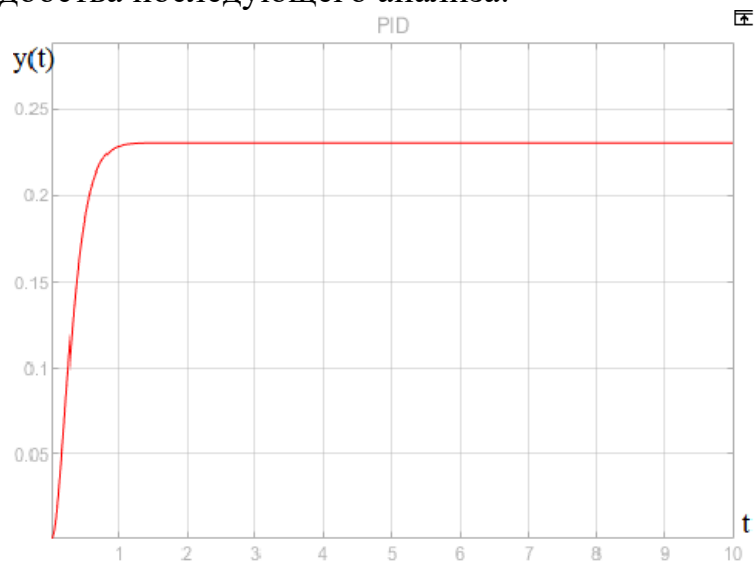


Рисунок 3.7 – Переходной процесс ЗСАР

Проанализируем поведение системы, основываясь на графике переходного процесса, используя основные показатели прямых оценок качества.

Время регулирования (обозначается как T_s) представляет собой временной интервал, в течение которого выход системы достигает и остается в пределах установленной точности относительно заданного значения. Этот параметр отражает быстродействие системы, то есть насколько быстро она стабилизируется после воздействия. По результатам моделирования, время установления составляет $T_{set} = 1.5$

Коэффициент перерегулирования отражает, насколько выходной сигнал превышает заданное значение до момента начала стабилизации. Это отклонение выражается в процентах от установившегося значения и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ov} = \frac{Y_{max} - Y_{ss}}{Y_{ss}} * 100\% \quad (3.11)$$

где Y_{max} – пиковое значение, которое достигло выходного сигнала
 Y_{ss} – установившееся значение

Этот показатель дает представление о степени колебательности системы. При его расчёте важно точно определить экстремум отклика до достижения устойчивого состояния.

Так как переходная характеристика системы демонстрирует монотонное поведение без колебаний, значение перерегулирования составляет 0%. Аналогично, количество колебаний также равно нулю, поскольку система не проявляет колебательного характера.

Установившаяся ошибка отражает разницу между заданием и фактическим значением выхода в установившемся режиме. Она вычисляется по следующему выражению:

$$e_{ss} = Y_{ss} - Y; e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) \quad (3.12)$$

Говоря простыми словами, это величина остаточного отклонения между входным воздействием и выходной реакцией системы при

$$t \rightarrow \infty.$$

Для определения этой ошибки применим следующий алгоритм:

Шаг 1. Определим передаточную функцию для случая единичного ступенчатого воздействия:

$$T(s) = \frac{E^R(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + G(s)} = \frac{0.0015s^3 + 0.05s^2 + 0.45s + 2}{0.0015s^3 + 0.05s^2 + 0.45s + 3}$$

Шаг 2. Найдём выражение для динамической ошибки:

$$E(s) = T(s) * R(s) = \frac{0.0015s^3 + 0.05s^2 + 0.45s + 2}{0.0015s^3 + 0.05s^2 + 0.45s + 3} * \frac{1}{s}$$

Шаг 3. Определим значение статической ошибки, используя предельный переход:

$$E_{ss}(s) = \lim_{t \rightarrow \infty} E(t) = \lim_{s \rightarrow 0} [s * E(s)] \quad (3.13)$$

Подставляя коэффициенты:

$$\lim_{s \rightarrow 0} \left[s * \frac{0.0015s^3 + 0.05s^2 + 0.45s + 1.3}{0.0015s^3 + 0.05s^2 + 0.45s + 2.3} * \frac{1}{s} \right] = \lim_{s \rightarrow 0} \left[\frac{0.0015s^3 + 0.05s^2 + 0.45s + 1.3}{0.0015s^3 + 0.05s^2 + 0.45s + 2.3} \right]$$

$$E_{ss}(s) = 0.5652$$

Время достижения первого максимума описывает момент, когда отклик системы достигает пика до стабилизации. В данной системе, ввиду отсутствия колебаний, этот параметр не определяется и приравняется к нулю.

Время нарастания характеризует быстроту отклика на ступенчатое воздействие — время, за которое сигнал достигает некоторой доли от установившегося значения (например, 90%). По данным анализа, оно составляет: $T_R = 0.75$ сек.

Декремент затухания оценивает уменьшение амплитуды колебаний, однако в данном случае система является апериодической — данный критерий не применим.

Таким образом, произведена всесторонняя оценка качественных характеристик замкнутой САР. Ниже в таблице 3.2 представлены полученные значения основных прямых показателей качества, определённых как по графику переходного процесса, так и аналитически.

Таблица 3.2 – Прямые оценки качества системы автоматического регулирования без использования регулятора

	№	Оценки качества	Обозначение	По переходному процессу	Желаемые
Основные	1	Время регулирования	T_{set}	1.5	—
	2	Перерегулирование	T_{ov}	0	0-20%
	3	Число колебаний	M	0	0

Продолжение таблицы 3.2

Дополнительные	4	Колебательность	μ	—	—
	5	Период колебаний	T	—	—
	6	Установившиеся ошибка	e_{ss}	0.5652	0
	7	Время достижения первого максимума	T_p	—	—
	8	Время нарастания	T_R	0.75 с	—
	9	Декремент затухания	$\square$	—	—

Вывод: Рассматриваемая система демонстрирует устойчивое поведение, апериодичный характер переходного процесса и отсутствие перерегулирования, что указывает на хорошее качество автоматического регулирования. Временные характеристики соответствуют заданным нормативам, что подтверждает возможность её применения для управления реверсивными цепными конвейерами. Это гарантирует надёжную и безопасную транспортировку палет.

Однако выявлен существенный недостаток — значение установившейся ошибки, приблизительно равное 0.6, что является индикатором недостаточной точности регулирования. Данный факт обосновывает необходимость внедрения регулятора в систему управления для повышения точности и компенсации остаточного отклонения.

3.4 Синтез типового регулятора

Имея передаточную функцию объекта управления, требуется определить параметры типового PID-регулятора, обеспечивающего оптимальные характеристики регулирования.

Формула ПИД-регулятора представляется следующим образом:

$$u(t) = k_p \left(e(t) + k_I \int_0^t e(t) dt + k_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.14)$$

Для синтеза типового регулятора системы автоматического управления будут применены три метода настройки PID-регулятора: метод Чина-Хронеса-Ресвика (CHR), метода Коэна-Куна (Cohen-Coon method). После получения переходных характеристик для каждого метода будет проведён сравнительный анализ качества регулирования на основании как прямых, так и косвенных критериев.

Перед использованием эмпирических подходов необходимо определить ключевые параметры объекта по переходной характеристике разомкнутой

системы. На основании графика (рисунок 3.8) были установлены следующие значения:

Коэффициент передачи равен $k = 0.23$

Время запаздывания равно $L = 0.1$ сек

Постоянная времени равна $T = 0.55$ сек

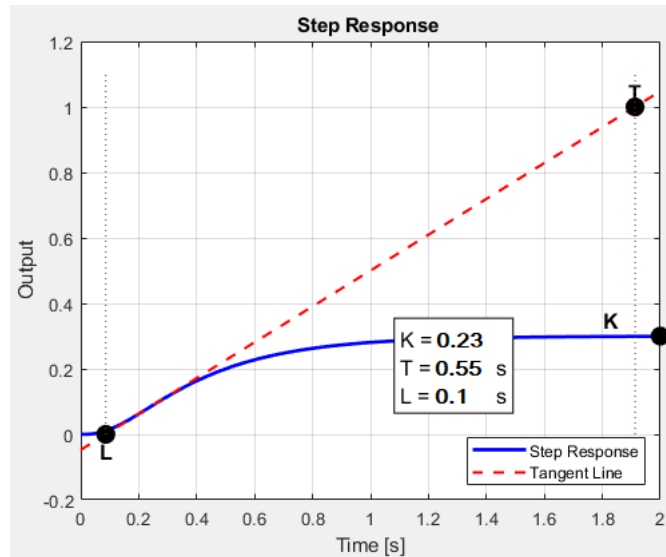


Рисунок 3.8 – Переходной процесс разомкнутой системы

Синтез регулятора начнем с метода Циглера-Никольса (ZN1).

Данный метод — один из классических способов приближённой настройки ПИД-регуляторов. Он направлен на обеспечение устойчивости и приемлемых динамических свойств системы. Поскольку исходные параметры объекта уже известны, будет применён вариант настройки по открытому контуру.

Схема моделирования системы с внедрённым PID-регулятором представлена на рисунке 3.9.

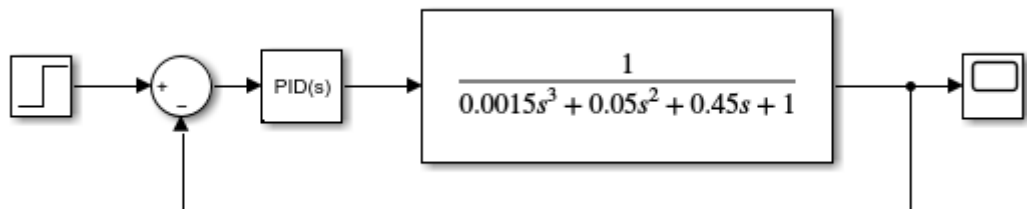


Рисунок 3.9 – Схема моделирования системы с PID-регулятором

Вычислим параметры PID-регулятора на основе эмпирических формул и занесем их в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Вычисление параметров регулятора методом ZN1

Тип регулятора	K_p	K_I	K_D
P	$\frac{T}{kL} = 23.91$	-	-
PI	$0.9 \frac{T}{kL} = 21.519$	$T_I = \frac{L}{0.3} = 0.333$ $K_I = \frac{1}{T_I} = 3$	-
PID	$1.2 \frac{T}{kL} = 28,692$	$2L = 0.2$ $K_I = \frac{1}{T_I} = 5$	$0.5L = 0.05$

После получения параметров ПИД-регуляторов по выбранным методам, были подставлены численные значения в соответствующие выражения, что позволило построить переходные характеристики систем. Визуализация этих переходных процессов представлена на графиках.

Подставив рассчитанные коэффициенты в стандартное уравнение регулятора, получим следующее выражение:

$$U(t) = 28.692 \left(e(t) + 5 \int_0^t e(t) dt + 0.05 \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.15)$$

График переходного процесса PID-регулятора синтезированного методом Циглера-Никельса (рисунок 3.10).

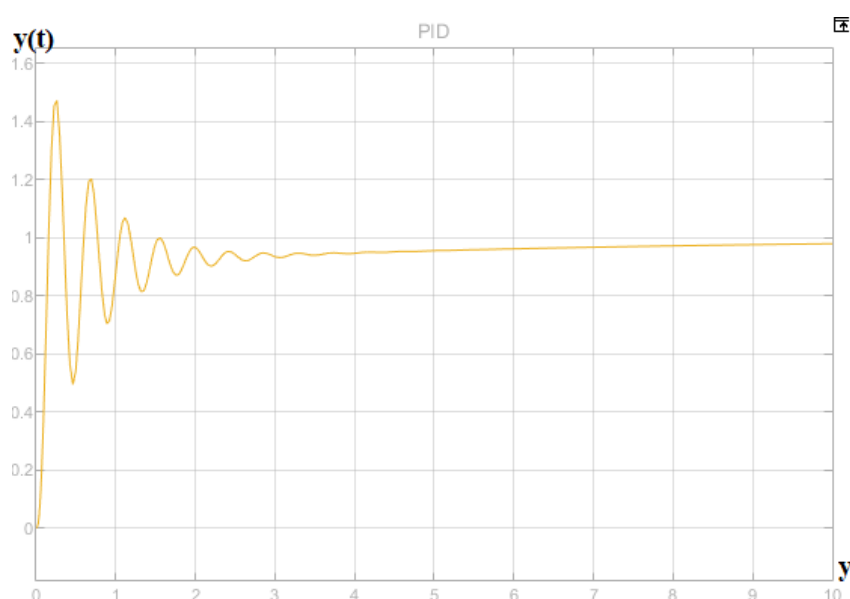


Рисунок 3.10 – Переходной процесс на основе Циглера-Никольса

Для обеспечения объективного сравнения, следующим этапом был проведён синтез регулятора при помощи метода Чина–Хронеса–Ресвика (CHR). Алгоритмика метода во многом напоминает подход Циглера–Никольса, однако ориентирована на системы с монотонным переходным процессом, что полностью соответствует поведению исследуемого объекта.

На основе ранее полученной переходной характеристики разомкнутой системы (см. рис. 3.8), произведены расчёты параметров ПИД-регулятора по методике CHR, результаты которых систематизированы и приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Вычисление параметров PID-регулятора методом CHR

Тип регулятора	K_p	K_I	K_D
P	$0.3 \frac{T}{kL} = 7.1$	-	-
PI	$0.6 \frac{T}{kL} = 14.346$	$T_I = 4L = 0.4$ $K_I = \frac{1}{T_I} = 2,5$	-
PID	$0.95 \frac{T}{kL} = 22.715$	$2.4L = 0.24$ $K_I = \frac{1}{T_I} = 4.17$	$0.42L = 0.042$

Зная рассчитанные коэффициенты регулятора, можно записать закон управления PID-регулятора следующим образом

$$U(t) = 22.715 \left(e(t) + 4.17 \int_0^t e(t) dt + 0.042 \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.16)$$

Используя рассчитанные коэффициенты типового регулятора методом CHR, промоделируем систему с PID-регулятором. Результаты моделирования показаны на рисунке 3.11.

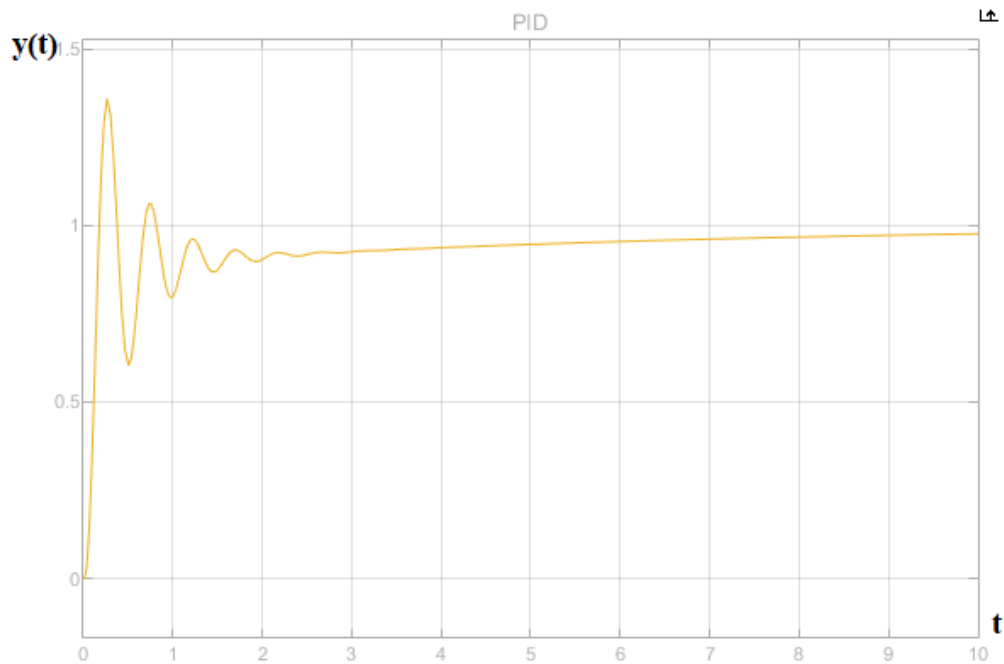


Рисунок 3.11 – Переходной процесс на основе Чина-Хронаса-Ресвика (CHR)

Для полноты анализа и сравнительной оценки эффективности различных методов синтеза ПИД-регуляторов рассмотрим третий подход — метод Коэна–Куна (Cohen–Coon). Этот метод относится к эмпирическому и аналогичен методу скорости реакции, аналогично методу Циглера–Никольса, однако, как показывает практика, он обеспечивает более высокое значение коэффициента усиления и позволяет добиться лучшего качества регулирования при определённых типах динамики объекта управления.

Закон управления идеального ПИД-регулятора записывается в следующем виде:

$$u(t) = k_p \left(e(t) + k_I \int_{t_0}^{\infty} e(t) dt + k_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.17)$$

Соответствующая передаточная функция регулятора:

$$C(s) = k_p \left[1 + k_I \left(\frac{1}{s} \right) + k_D s \right] \quad (3.18)$$

Алгоритм настройки ПИД-регулятора по методу Коэна–Куна:

Метод Коэна–Куна основывается на использовании FOPDT-модели (First Order Plus Dead Time) — модели первого порядка с запаздыванием. При анализе системы выполняется ступенчатое воздействие, после чего по отклику определяются параметры объекта: коэффициент передачи K , постоянная времени T , и запаздывание L . В данной работе, согласно ранее построенному переходному процессу (см. рис. 3.8), были определены следующие параметры:

$$W(s) = K_s(1 + TD_1s)(1 + TD_2s) \dots (1 + TD_ms)(1 + T_1s)(1 + T_2s) \dots (1 + T_ns)e - sTt$$

$$T_{\Sigma} = \sum T_1 + \dots + T_n - T_{Dm} + T_t \quad (3.19)$$

Также была рассчитана суммарная постоянная времени объекта управления по аналогии с формулой:

$$T_{\Sigma} = 1 + 0.0015 + 0.005 + 0.45 + 1 = 2.4565$$

Шаг 2. Для определения параметров ПИД-регулятора — интегральной T_i и дифференциальной T_d постоянных — используется аппроксимация объекта управления в виде квадратичного выражения:

$$\left(\frac{T_{\Sigma}}{3}s + 1\right)^2 = 1 + T_is + T_iT_ds^2 \quad (3.20)$$

Из чего определяются параметры:

$$T_i = \frac{2T_{\Sigma}}{3} = \frac{2 * 2.4565}{3} = 1.638 \quad (3.21)$$

$$T_d = \frac{T_{\Sigma}}{6} = \frac{2.4565}{6} = 0.409 \quad (3.22)$$

Касательно настройки параметра: этот параметр определяется так чтобы коэффициент демпфирования системы был равен $\sqrt{2/2}$. Считается, что такой коэффициент будет самым оптимальным в отношении переходного процесса и overshoot. Таким образом

$$k_p = k_s^{-1} \quad (3.23)$$

Где $k_p = 1$

Тогда окончательные параметры таковы

$$k_p = 1$$

$$k_d = 0.001$$

$$k_i = 1.6$$

Согласно полученным значениям, закон управления ПИД-регулятора выглядит так

$$U(t) = 1 * \left(e(t) + 1.6 \int_0^t e(t) dt + 0.001 \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Полученный переходной процесс Козна-Куна (рисунок 3.12).

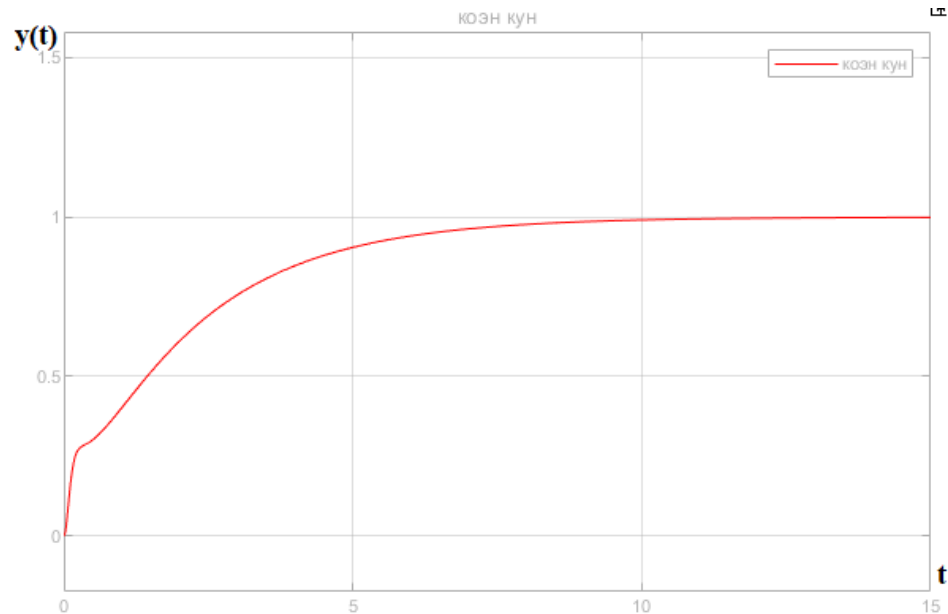


Рисунок 3.12 – График переходного процесса методом Козна Куна

Для оценки эффективности различных методов настройки ПИД-регуляторов был проведён анализ переходных характеристик, полученных в результате моделирования систем, синтезированных методами Циглера–Никольса (ZN), Чина–Хронеса–Ресвика (CHR) и Козна–Куна (Cohen-Coon). Графическое отображение откликов представлено на рисунке 3.12. На основании анализа переходных процессов можно сделать следующие выводы:

Метод Циглера–Никольса (ZN) демонстрирует быстрое нарастание сигнала, однако сопровождается заметным перерегулированием. Несмотря на высокую скорость отклика, данный метод менее предпочтителен для систем, в которых требуется плавный выход на установившееся значение без резких колебаний.

Метод Чина–Хронеса–Ресвика (CHR) обеспечивает более сглаженный и устойчивый переходный процесс. Время нарастания несколько больше, чем у ZN, но при этом практически отсутствует перерегулирование. Это делает данный метод подходящим для систем с высокими требованиями к стабильности.

Метод Козна–Куна демонстрирует наилучшее соотношение между быстродействием и точностью. Переходной процесс отличается умеренной скоростью нарастания и минимальной установившейся ошибкой. Кроме того,

система, настроенная данным методом, характеризуется устойчивым поведением без значительных колебаний.

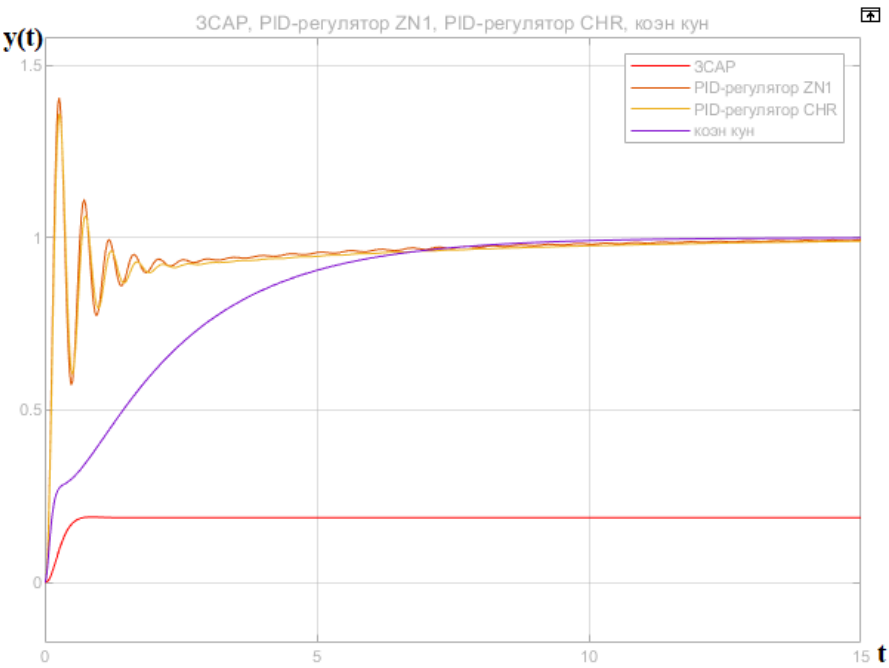


Рисунок 3.13 – Переходные процессы системы с PID-регулятором при различных методах.

Таблица 3.5 – Прямые оценки качества системы без регулятора и с PID регулятором

	№	Оценки качества	Система без регулятора	Метод ZN1	Метод CHR	Метод Козна куна	Желаемые
Основные	1	T_{set}	1.5	22.35 с	48.15 с	21.25с	---
	2	T_{ov}	0	40.6	19.5%	0	0-20%
	3	M	---	5	4	---	---
	4	μ	---	78.8	18.1%	---	---
	5	T	---	0.5 с	1.06 с	---	---
	6	e_{ss}	0.5652	0	0	0	0

Продолжение таблицы 3.5

Дополнительные	7	T_p	---	0.26	0.28 с	---	---
	8	T_R	---	0.17	0.18 с	4.73 с	---
	9	$\square$	---	3.759	5.95	---	---

Проведя анализ прямых оценок качества переходного процесса, можно сделать вывод, что наилучшие результаты достигнуты при применении ПИД-регулятора, синтезированного методом Козна–Куна (Cohen–Coon method). Данный регулятор обеспечил системе наименьшее время регулирования и переходного процесса, что положительно сказалось на быстродействии системы. Перерегулирование составляет 0 %, что является наилучшим показателем среди рассмотренных методов настройки. Переходный процесс характеризуется быстрым выходом на установившееся значение без колебаний, что указывает на высокую устойчивость и точность регулирования.

Таким образом, метод Козна–Куна можно рассматривать как наиболее предпочтительный подход для синтеза ПИД-регулятора в рамках данной системы автоматического управления. Он обеспечивает оптимальный баланс между скоростью отклика и устойчивостью, что особенно важно для систем, управляющих реверсивными цепными конвейерами.

Согласно полученным расчетам, уравнение управления для ПИД-регулятора имеет следующий вид:

$$U(t) = 1 * \left(e(t) + 1.6 \int_0^t e(t) dt + 0.001 \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Где $k_p = 1$;

$k_d = 0.001$;

$k_i = 1.6$

Вышеуказанные значения были определены на основе параметров математической модели объекта управления и позволили получить регулятор, обеспечивающий наилучшее качество переходного процесса. Использование данной настройки позволяет повысить эффективность, точность и надежность системы управления.

4 Техническая реализация логического управления реверсивными цепными конвейерами в среде TIA Portal

Постановка задачи №2. В соответствии с техническим заданием разработан алгоритм логического управления для системы автоматизированной транспортировки палет в роботизированном складе. Управление осуществляется в контуре программного регулирования, построенного на принципе разомкнутой схемы.

На рисунке 4.1 представлена функциональная схема программного управления движением палеты по цепным конвейерам. Основная задача – обеспечение движения палеты с заданной скоростью v_0 за счёт формирования управляющего сигнала U на исполнительные механизмы системы. В результате, скорость движения v стремится к заданному значению без использования обратной связи, что характерно для разомкнутых систем управления.



Рисунок 4.1 – Функциональная схема контура программного управления скоростью цепей в цепном конвейере

Где v_0 – заданный скорость м/с;

U – подающийся напряжение В;

v – скорость цепей на конвейере м/с.

Для реализации логического алгоритма управления применяется SCADA-система на базе TIA Portal, что обеспечивает централизованный контроль и управление процессами погрузки и отгрузки палет. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) представляет собой комплексное решение для диспетчерского управления и сбора данных, широко применяемое в промышленных и логистических системах.

Программная платформа TIA Portal, разработанная компанией Siemens, используется для проектирования, конфигурирования и программирования логических контроллеров (ПЛК), интерфейсов человек-машина (HMI) и других устройств автоматизации. В рамках данной системы предусмотрено логическое управление последовательностью операций с учетом режима работы оборудования и заданных условий.

На основе вышеописанной схемы и поставленной задачи составлена блок-схема алгоритма управления движением палет по цепному конвейеру (рисунок 4.2), отражающая логику функционирования программного модуля в условиях разомкнутого управления.

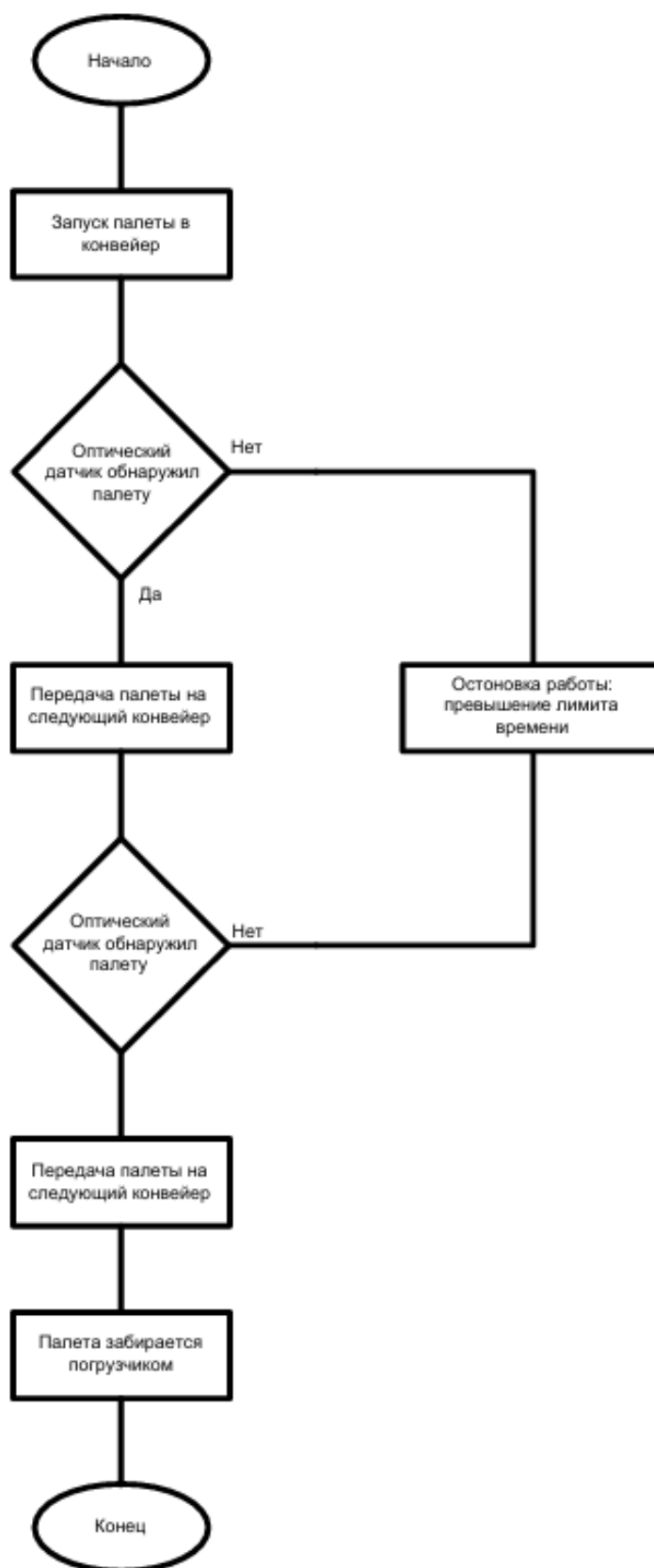


Рисунок 4.2 – Блок схема алгоритма

Для реализации алгоритма управления движением цепных конвейеров в среде TIA Portal первым шагом стало формирование аппаратной конфигурации

контроллера (см. рисунок 4.3). В качестве базового устройства применён программируемый логический контроллер Siemens CPU 1515-2 PN, к которому подключены модули ввода-вывода для работы как с аналоговыми, так и с дискретными сигналами. Электропитание обеспечивается модулем PS мощностью 25 Вт, достаточным для стабильной работы всей схемы.

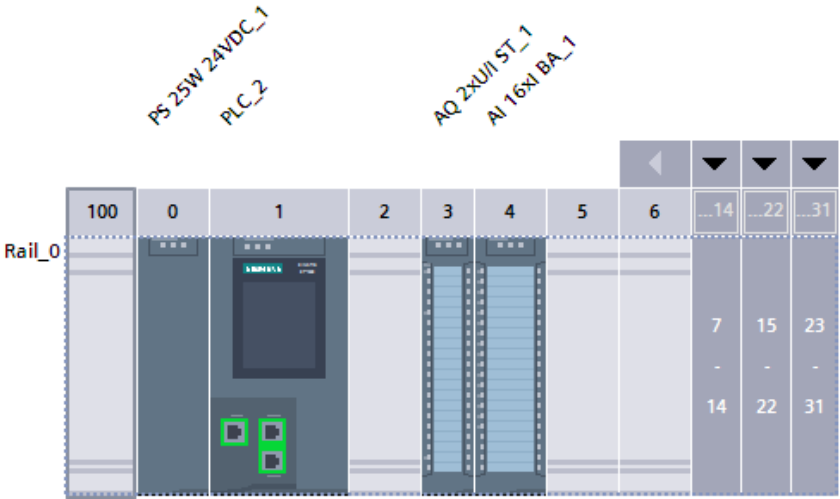


Рисунок 4.3 - Конфигурация контроллера

На следующем этапе был сформирован перечень используемых тегов (см. рисунок 4.4). Теги позволяют задавать имена переменным, используемым в логике управления, а также обеспечивают удобную интеграцию с интерфейсами оператора и внешними устройствами.

1	START	Default tag table	Bool	%M0.0	☐	☒	☒	☒
2	STOP	Default tag table	Bool	%M0.1	☐	☒	☒	☒
3	CONVEYOR	Default tag table	Bool	%M0.2	☐	☒	☒	☒
4	RUN_LAMP1	Default tag table	Bool	%M0.3	☐	☒	☒	☒
5	BOX1	Default tag table	Time	%MD2	☐	☒	☒	☒
6	PROXIMITY SENSOR1	Default tag table	Bool	%M0.5	☐	☒	☒	☒
7	TAKEBOX	Default tag table	Bool	%M1.3	☐	☒	☒	☒
8	CONVEYOR2	Default tag table	Bool	%M0.6	☐	☒	☒	☒
9	RUN_LAMP2	Default tag table	Bool	%M1.0	☐	☒	☒	☒
10	<Add new>				☐	☒	☒	☒

Рисунок 4.4 – Таблица тегов

После настройки оборудования и налаживания связи с SCADA-системой начинается наиболее значимый этап — программирование логики работы оборудования. В данном проекте логика реализована с применением языка лестничных диаграмм (LAD – Ladder Logic), который отличается визуальной доступностью и хорошо подходит для описания дискретных процессов автоматизации.

Разработанный алгоритм охватывает основные режимы функционирования системы: автоматический и ручной, а также включает блок аварийного останова. В автоматическом режиме система принимает решения на основе сигналов с датчиков и заданных параметров, обеспечивая автономную работу. В ручном режиме оператор получает возможность напрямую управлять исполнительными механизмами с панели управления — это удобно при обслуживании, тестировании или наладке оборудования.

Механизм аварийного останова обеспечивает безопасность: при активации аварийной кнопки подача управляющих сигналов немедленно прекращается, оборудование переходит в безопасное состояние.

Реализованная логика на языке LAD охватывает ключевые аспекты функционирования системы и обеспечивает её стабильную, надёжную и безопасную работу в производственной среде (рисунки 4.5 и 4.6).

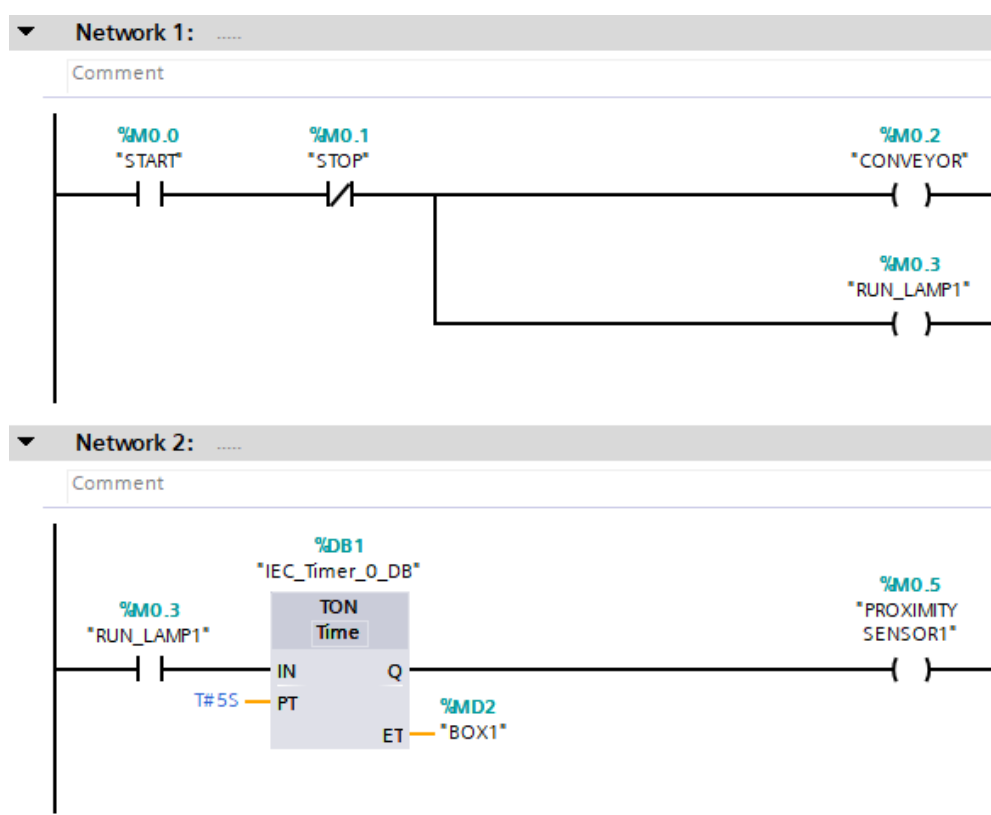


Рисунок 4.5 – Логика системы управления START и STOP

На рисунке 4.6 логика которые отвечает за работу датчиков которые отвечают за обнаружение груза на конвейера. Также датчики отвечают за работу системы и для перемещения груза по конвейерам.

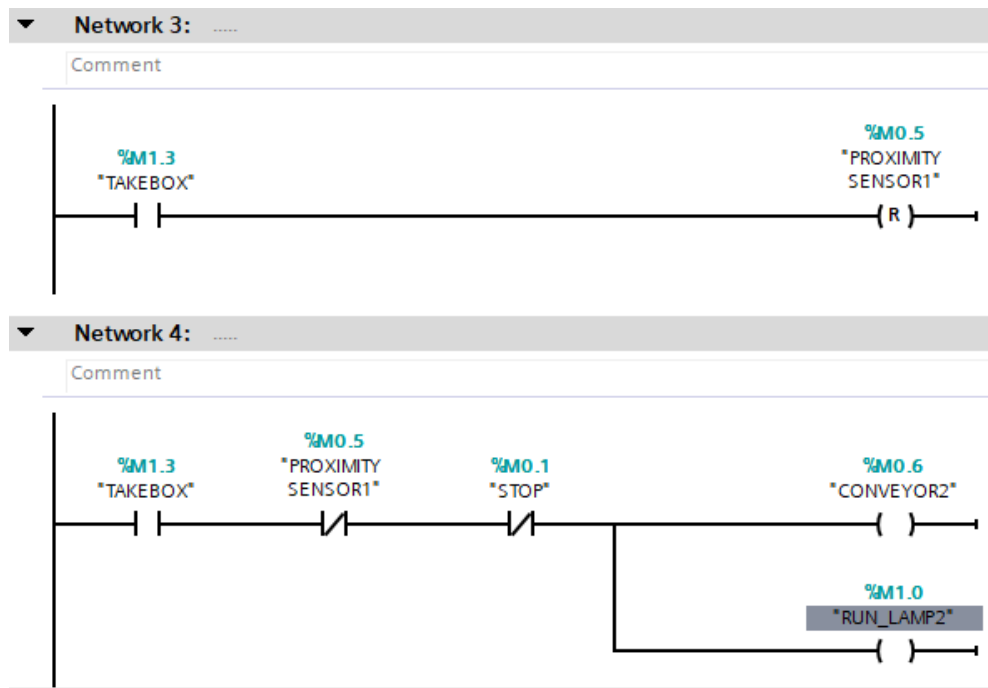


Рисунок 4.6 – Логика системы управления

Описание HMI-интерфейса SCADA-системы

В составе проекта была также реализована визуальная панель управления на основе SCADA-системы. Этот интерфейс обеспечивает интуитивно понятный доступ к основным функциям управления и позволяет оператору в реальном времени отслеживать состояние оборудования и параметры процесса (рисунок 4.7).

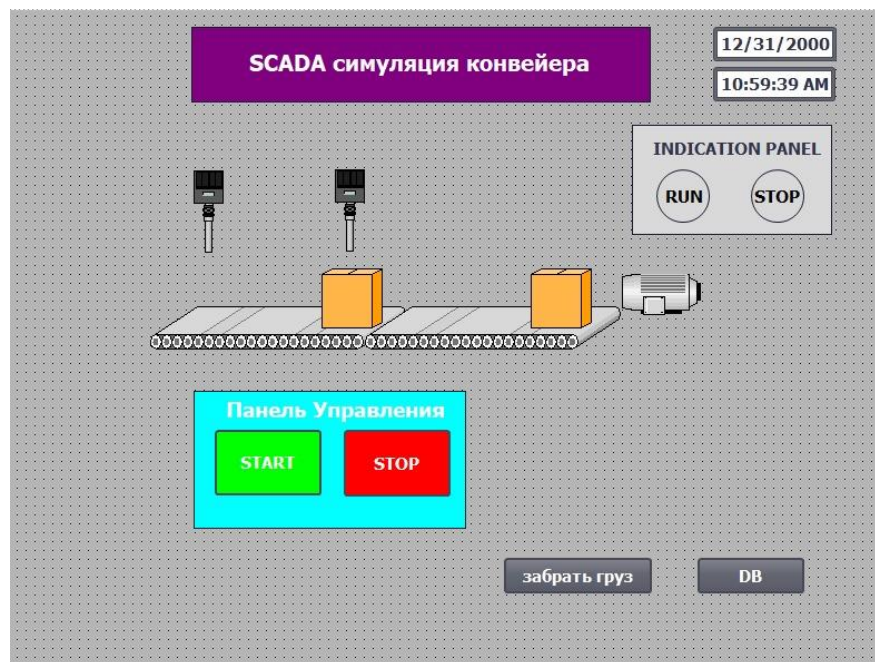


Рисунок 4.7 - HMI окно проекта в TIA Portal

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дипломный проект был направлен на разработку автоматизированной системы управления реверсивными цепными конвейерами, предназначенной для применения на современных промышленных складах. В условиях стремительного развития цифровых технологий и автоматизации производственных процессов особое значение приобретает эффективность логистических систем, где одним из ключевых компонентов выступают автоматизированные транспортные решения. Разработка системы управления конвейером преследовала цель повышения точности, надёжности и безопасности перемещения грузов, а также минимизации человеческого участия в процессе.

В рамках проекта была разработана структурная и функциональная схема автоматизации, выполнен выбор технических средств управления, включая программируемый логический контроллер Siemens серии S7-1500, оптические датчики, электроприводы и частотный преобразователь. Логика работы системы реализована на языке релейных диаграмм LAD, который отличается простотой визуального представления и активно применяется в промышленной автоматике. Программа управления включает автоматический и ручной режимы работы, а также аварийную обработку, что обеспечивает гибкость в управлении, удобство обслуживания и высокий уровень безопасности при эксплуатации оборудования.

Особое внимание в проекте было уделено моделированию и анализу системы управления. На основе математической модели реверсивного конвейера были синтезированы контуры управления, включая контур регулирования скорости и программный контур перемещения грузов. С использованием среды MATLAB/Simulink была произведена оценка динамических характеристик системы, проведён анализ устойчивости по критерию Гурвица, а также выполнен синтез PID-регулятора с применением трёх методов: Циглера-Никольса, Чина-Хронеса-Ресвика и автоматической настройки (Auto-tune). В результате сравнительного анализа установлено, что наиболее оптимальные параметры управления были достигнуты при использовании метода CHR, обеспечившего наименьшее время регулирования, минимальную статическую ошибку и допустимый уровень перерегулирования.

Важным компонентом проекта стала разработка человеко-машинного интерфейса (HMI) на базе SCADA-системы. Интерфейс позволяет оператору в реальном времени контролировать состояние системы, запускать и останавливать конвейер, а также управлять отдельными операциями через визуальные элементы управления. Реализована функция пошаговой обработки груза: при срабатывании датчика система останавливает движение до момента, пока оператор не подтвердит завершение текущего этапа нажатием кнопки «забрать груз». Такая логика управления обеспечивает надёжность и предотвращает возможные сбои или аварии в процессе работы.

Подводя итог, можно сделать вывод, что разработанная автоматизированная система управления реверсивным цепным конвейером

соответствует современным требованиям к промышленной автоматике. Она обладает высокой степенью надёжности, устойчивости, адаптивности к изменяющимся условиям эксплуатации, а также возможностью интеграции в более крупные логистические и производственные комплексы. Полученные в рамках проекта результаты могут быть использованы при внедрении систем автоматизации на промышленных предприятиях, модернизации существующих складских решений и обучении специалистов в области автоматизированных систем управления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Белов М.П. Современные подходы к структурно-параметрическому синтезу, исследованию и управлению автоматизированными электроприводами промышленных агрегатов. – Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, 2012. – 208 с.
- 2 Елисева В.А., Шинянского А.В. Справочник по автоматизированному электроприводу. – М: Энергоатомиздат, 1987. – 616 с.
- 3 Герасимов В.А., Губин А.Н., Лях В.А., Милюков М.А., Плоткин В.Б. Структура и управление транспортно-складской системой ГАП // Центральный научно-технический сборник. Москва. – №3. – 1985. – 21-25 с.
- 4 Ивоботенко И.А., Рубцов В.П., Садовский Л.А., Цаценкин В. К., Чиликин М.Г. Дискретный привод с шаговыми двигателями // Энергия, – 1971. – 624 с.
- 5 Пикалева А.Е., Титов А.В. Исследования на математической модели режимов работы ГТУ 70 МВт в составе ПГУ // Инновационная наука. №. 11. 2020, –54-60 с.
- 6 Ким Д.П. Теория Автоматического Управления. – 2-е издание., исправленный и дополненный. – М: Издательство физико-математической и технической литературы, 2016, – 276 с.
- 7 Паршаков С.И. Основы управления техническими процессами и системами: учебное пособие Ерпалов М.В.. / – Екатеринбург: Издательство Уральский государственный технический университет, 2017. – 148 с.
- 8 Ang K.H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology // IEEE Trans. on Control Systems Technology, 2005. – P. 559-576.
- 9 Востриков А.С., Французова Г.А., Гаврилов Е.Б. Основы теории непрерывных и дискретных систем регулирования. – Новосибирск: НГТУ, 2008. – 476 с.
- 10 John A.S. The PID Control Algorithm. – ICCPEIC. – 2003. – 68p

Приложение А

Функциональная схема автоматизации

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Даулетбек Нурболат Ашимулы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом

Научный руководитель: Елена Кулакова

Коэффициент Подобия 1: 0.4

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 3

Знаки из других алфавитов: 8

Интервалы: 0

Белые Знаки: 3

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- ☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- ☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- ☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- ☐ Обоснование:

Дата

13.06.2017.



Е.Н. Кулакова

проверяющий эксперт

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Даулетбек Нурболат Ашимұлы

Тақырыбы: Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом

Жетекшісі: Елена Кулакова

1-ұқсастық коэффициенті (30): 0.4

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0.2

Әріптерді ауыстыру: 8

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 3

Ақ белгілер: 3

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні



Кафедра меңгерушісі

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Даулетбек Нурболат Ашимулы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом

Научный руководитель: Елена Кулакова

Коэффициент Подобия 1: 0.4

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 3

Знаки из других алфавитов: 8

Интервалы: 0

Белые Знаки: 3

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- ☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- ☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- ☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- ☐ Обоснование:

Дата



Заведующий кафедрой

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

Дипломная работа
Дәулетбек Нұрболат Ашімұлы
6B07103 – «Автоматизация и роботизация»

Тема: Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом

В ходе выполнения дипломного проекта студент продемонстрировал хороший уровень теоретической подготовки и уверенные практические навыки в области автоматизации технологических процессов. Тематика работы, связанная с разработкой автоматизированной системы управления котлоагрегатов, является актуальной и востребованной в современной энергетике.

Выбор методов и программных средств был осуществлён обоснованно и с учётом специфики управляемого объекта. Разработанная система управления соответствует современным требованиям к промышленной автоматизации, обеспечивая гибкость и расширяемость решений.

Все поставленные задачи выполнены в полном объёме. Студент проявил самостоятельность, инициативу и способность к решению технически сложных задач, что подтверждает его профессиональную подготовку и готовность к работе в сфере промышленной автоматизации.

Дипломный проект Дәулетбек Нұрболата Ашімұлы демонстрирует хороший уровень подготовки в области систем автоматического управления и заслуживает присвоение академической степени бакалавра по образовательной программе 6B07103 – Автоматизация и роботизация.

Научный руководитель
Старший преподаватель
 Кулакова Е.А.
« 13 » 10 2025 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект студента
Даулетбек Нурболат Ашимулы
6B07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом

Выполнено:

- а) презентация на __ слайдах
- б) пояснительная записка на __ страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа посвящена актуальной теме - проектированию автоматизированной системы управления котлоагрегатом (АСУ ТП). Повышение эффективности и безопасности эксплуатации теплотехнического оборудования на фоне перехода промышленных предприятий к цифровым технологиям делает данную работу своевременной и практически значимой.

Дипломный проект имеет теоретическую, расчетную и программную части, что в совокупности свидетельствует о высоком уровне подготовки автора. В теоретической части подробно описывается объект управления, его конструктивные и технологические особенности. В следующем разделе создается анализ и синтез системы управления. Построения структурной схемы АСУ ТП, формирование требований к автоматизированной системе и выбор ключевых точек автоматизации.

В третьем и четвертом разделах выполняется разработка функциональной схемы автоматизации СУП или объектом и расчетная часть. По расчетной части проводится анализ динамических систем переходных процессов и особенности ПИД-регуляторов.

Оценка работы

Работа демонстрирует хорошую подготовку выпускника в области автоматизации и заслуживает оценки «85» (*хор.*), а студенту Даулетбек Нурболат Ашимулы присвоения академической степени бакалавра по специальности 6B07103 – Автоматизация и роботизация.

Рецензент

асоц. профессор, доцент кафедры Автоматизация и управление,
АУЭС им. Г. Даукесва



Оракбаев Е. Ж.

«13» июля 2025г.